

Frederikshavn Kommune
Center for Teknik & Miljø
Rådhus Allé 100
9900 Frederikshavn

Aarhus
15. august 2025

Side 1 af 15

Att.: Julie Maysfelt

1. Ansøgning om endelig tilladelse til videregående vandbehandling med PAC dosering på Læsø Vandværk

På vegne af Læsø Vand A/S fremsendes hermed ansøgning om endelig tilladelse til videregående vandbehandling til fjernelse af naturligt forekommende organisk stof på Læsø Vandværk.

Der søges om tilladelse til videregående vandbehandling med dosering af PAC til vandet og den eksisterende vandbehandlingsproces på Læsø Vandværk på baggrund af resultaterne af fuldskalaforsøg på Læsø Vandværk:

Linievejen 3,
Byrum
9940 Læsø

Der søges om tilladelse til jf. Miljøstyrelsens vejledning nr. 38, oktober 2019.
Resultaterne af fuldskalaforsøg kan ses i afrapporteringen Bilag 1.

Krüger A/S – Veolia Water Technologies, Danmark

SØBORG
Gladsaxevej 363
DK-2860 Søborg
T +45 3969 0222
kruger@kruger.dk

AALBORG
Indkildevej 6C
DK-9210 Aalborg SØ
T +45 9818 9300
kruger@kruger.dk

AARHUS
Haslegårdsvænget 18
DK-8210 Aarhus V
T +45 8746 3300
kruger@kruger.dk

SERVICE
Langebjerg 29A
DK-4000 Roskilde
T +45 3969 0222
kruger@kruger.dk

AQUACARE
Fabriksparken 50
DK-2600 Glostrup
T +45 4345 1676
aquacare@kruger.dk



2. Teknisk redegørelse

2.1 Nuværende forhold

Læsø Vandværk er idriftsat i 1973 og er løbende blevet optimeret og renoveret. Senest med renoveringer af de fire åbne sandfiltre. Læsø Vandværk trækker vand fra maksimalt 21 borerer ad gangen, hvor der under indvinding bliver indvundet ca. 60 m³/t og maksimalt 80 m³/t, som er fordelt på flere borerer, der yder mellem 3,5-8 m³/t. Indvindingen styres efter ønsket niveau i rentvandsbeholderen.

2.1.1 Råvandskvalitet

Læsø Vandværk indvinder vand fra borerer, der alle er placeret i Højsande, hvor arealanvendelsen er klitplantage. Grundet områdets geologi er grundvandsmagasinerne ikke beskyttet af et lerlag, og kildepladsområdet er derfor sårbart. Borererne er placeret i et op til 15 m tykt sandlag, hvorfor ingen af borererne er dybere end dette.

Der er i 2019 oprettet fem nye indvindingsboringer, for at kunne fordele indvindingen over et større indvindingsområde. Derfor indvindes vandet fra mange borerer, der hver yder mellem 3,5-8 m³/t. Der opleves trods dette fortsat udfordringer med at overholde drikkevandskvalitetskravene for hhv. NVOC og farvetal samt periodevis også for jern.

Råvandsanalyser for de 21 aktuelle borerer hos Læsø Forsyning med udvalgte parametre ses i Tabel 1. Data er hentet fra Geus Jupiter Databasen og de seneste tilgængelige data er anvendt.

**Tabel 1:** Råvandsanalyser for de 21 aktuelle borer hos Læsø Forsyning, samt gennemsnitlig råvandskvalitet.

Parameter		B10	B13	B14	B15	B16	B17	B18	B19	B20	B21	B22	B23	B24**	B25**	B26	B27	B28	B29	B30	B31	B32	Krav ved forbrugers tap hane	Gen. råvandskvalitet	Variation
Analyse dato	-	27/11-2023	16/02-2021	16/02-2021	16/02-2021	16/02-2021	27/09-2022	27/09-2022	27/09-2022	27/09-2022	27/09-2022	28/09-2023	28/09-2023	26/09-2024 ³⁾	26/09-2024 ³⁾	26/09-2024 ³⁾	26/09-2024 ³⁾	27/11-2023	27/11-2023	27/11-2023	27/11-2023	27/11-2023		-	
NVOC	mg/l	11	7,6	6,7	6,5	4,5	7,9	5,4	6	3,8	5,2	8,1	2,8	14	30	6,1	8,2	8,4	9	7,2	11	11	6 ¹⁾	6,9	2,8 - 30
pH	-	6	6,5	6,1	6	6	5,8	6,2	6	6,1	5,9	5,6	5,4	6,1	6,2	6,3	7,1	6,3	6,3	6,4	6,1	6	7-8,5	Ca. 6	5,4 - 6,7
Temperatur	°C	12	9,4	9,9	9,1	9,7	9,7	9,8	9,8	10	9,9	5	13					11	11	11	10	11	12 ²⁾	9,9	8,8-13
Jern	mg/l	2	2,56	2,76	2,04	1,46	2,64	1,79	1,88	1,33	3,24	9,1	3,4	4,6	30	4,5	1,8	3	2,9	2,5	2,6	3,5	0,20	2,7	1,14 - 30
Aluminium	µg/l	590	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	940	700	1900	48	64	320	320	290	-	-	200	-	48-1900
Turbiditet*	FTU	-	4,3	1,7	-	-	-	-	1,2	-	0,67	3,6	2,2	8,1	-	-									
Chlorid	mg/l	37	20	33	30	33	24	25	19	14	31	15	16	50	16	23									

- refererer til, at der ikke er analyseret for dette.

¹⁾ Læsø Forsyning har en dispensation til 6 mg/l, der gælder frem til 1. februar 2026. Krav i drikkevandsbekendtgørelsen er 4 mg/l.

²⁾ Drikkevandsbekendtgørelsen specificerer, at der skal tilstræbes en temperatur på max. 12°C.

³⁾ Analyser er udført, men data ikke godkendt i Jupiter endnu.

* Turbiditet analyseres ikke som en del af boringskontrol, data er gengivet hvor de findes, er derfor ofte historiske data.

** Siden seneste analyseresultater for B24 og B25, har disse to borer været taget ud af indvindingen til vandværket.



2.1.2 Drikkevandskvalitet - udfordringer

Tabel 2 viser udvalgte parametre, der giver udfordringer med vandkvaliteten ved hhv. afgang vandværk og ved forbrugers taphane, seneste analyser (data fra Læsø Vand, da de i GEUS Jupiter databasen endnu ikke er offentlig tilgængelige). Der har gennem længere tid været udfordringer med NVOC indholdet samt farvetallet for drikkevandet (se figur 1 og figur 2).

Tabel 2: Rentvandskvalitet udvalgte parametre fra Læsø Vand (seneste analyser til GEUS)

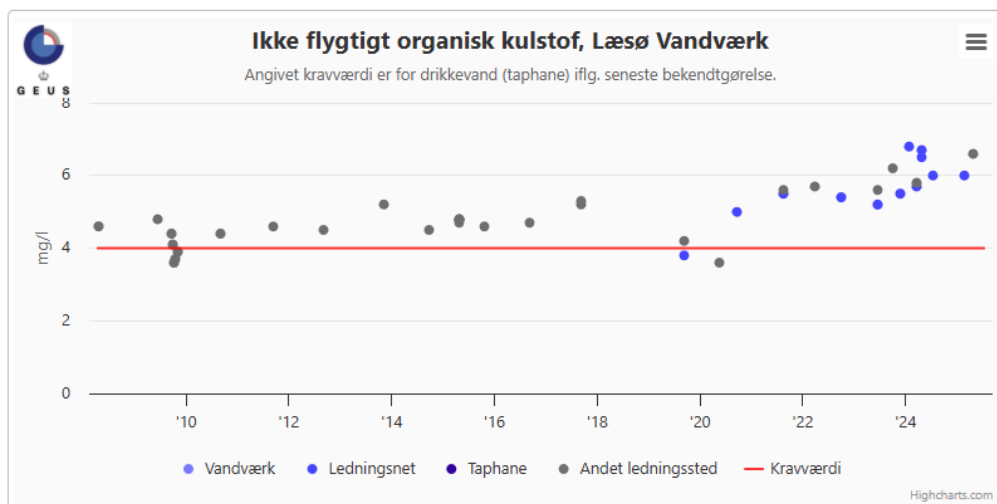
Parameter	Enhed	Afgang VV (efter UV)	Forbrugers taphane (Nordmarksvej 4)	Krav ved forbrugers taphane
Analyse dato	-	23-04-2025	23-04-2025	
Ammonium	mg/l	0,0078	-	0,05
Nitrit	mg/l	0,012	0,0019	0,01
Jern	mg/l	0,22	0,16	0,20
Mangan	mg/l	0,020	-	0,05
Arsen	µg/l	1,2	-	5
Aluminium	µg/l	110	-	200
NVOC	mg/l	6,6	-	6 ¹⁾
pH	-	7,4	7,3	7-8,5
Farvetal	mg Pt/l	-	24	25 ²⁾
Turbiditet	FNU	-	0,82	1

- refererer til, at der ikke er analyseret for dette.

¹⁾ Læsø Forsyning har en dispensation til 6 mg/l, der gælder frem til 1. februar 2026. Krav i drikkevandsbekendtgørelsen er 4 mg/l.

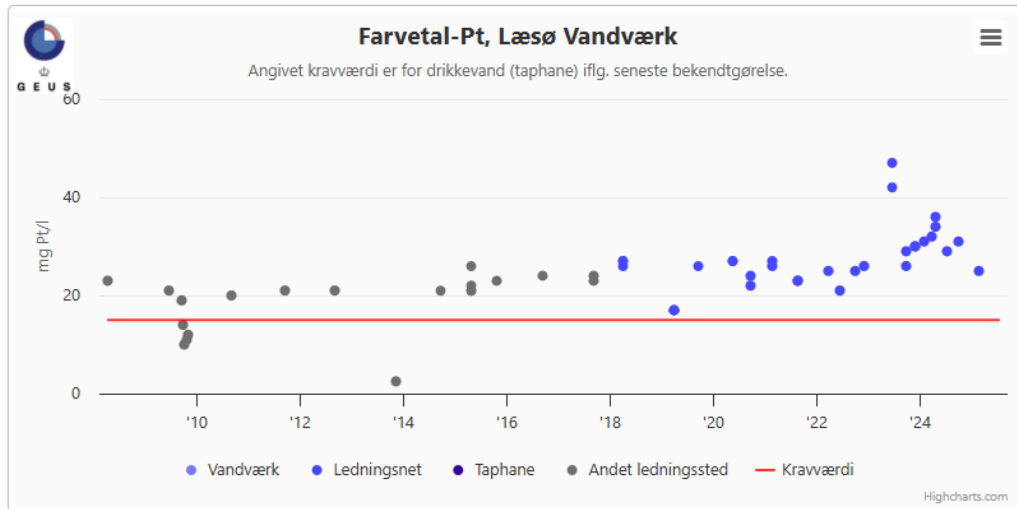
²⁾ Læsø Forsyning har en dispensation til 25 mg Pt/l, der gælder frem til 1. februar 2026. Krav i drikkevandsbekendtgørelsen er 15 mg Pt/l.

I figur 1 og 2 ses de tidlige udviklinger for henholdsvis NVOC (ikke flygtigt organisk kulstof) og farvetal registreret i GEUS Jupiter database.



Figur 1 Tidsserie for NVOC analyser i henholdsvis afgang vandværk (lys blå) ledningsnet (blå) og forbrugers taphane (mørk blå). Hentet fra Geus Jupiter Database

(<https://data.geus.dk/kemitidsserie/?anlaegid=71184&stofnr=75&formaal=-1>)



Figur 2 Tidsserie for Farvetal-Pt . Hentet fra GEUS Jupiter database.

(<https://data.geus.dk/kemitidsserie/?anlaegid=71184&stofnr=25&formaal=-1>)

2.1.3 Det nuværende vandbehandlingsanlæg

Læsø Vandværk behandler vandet gennem flere procestrin, som kan ses på figur 3.

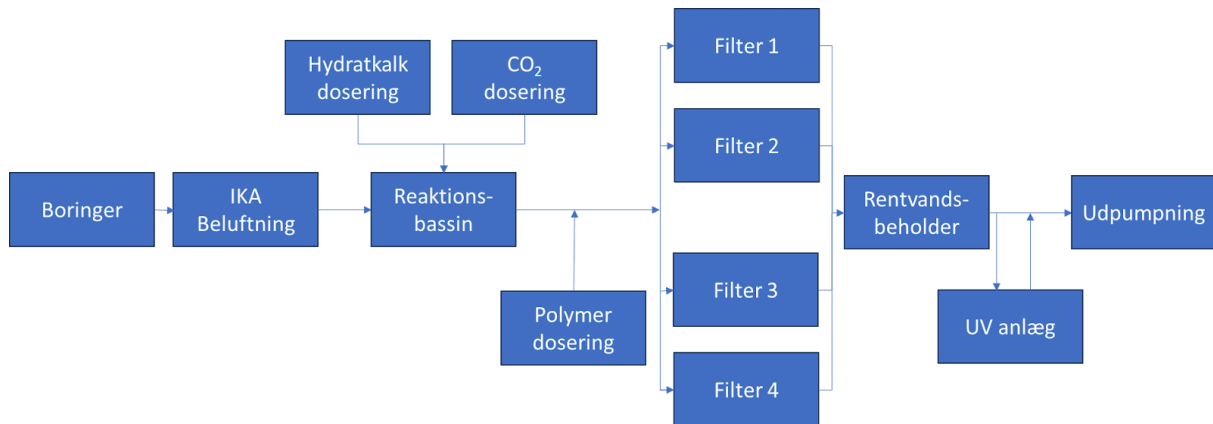
Først tilføres ilt i et IKA beluftsanlæg, som samtidigt afblæser de fleste opløste gasser. Herefter doseres hydratkalk og CO₂ i et reaktionsbassin. Hydratkalk doseres for at øge pH og dermed sikre reduktion af aggressivt kuldioxid i vandet, mens CO₂ dosering sikrer, at pH ikke overstiger 8,5 i den efterfølgende drikkevandsproduktion.

Fra reaktionsbassinet pumpes vandet til filtrene, hvor der i rørledningen, inden filtrene doseres polymer for at binde organiske materialer og humint bundet jern. Doseringen af polymer sker ud fra den mængde grundvand, der behandles på anlægget.

Vandværket har fire åbne filtre, hvor vandet fordeles over alle fire filtre og filtreres med gravitation.

Filtrene vedligeholdes ved periodisk returskylning, der sker efter 250 m³ behandlet vand - således at hvert filter i en gangtid behandler 1000 m³. Skyllevandet fra returskylningerne ledes til et slambassin, hvor slammet bundfælder og vandfasen efter klaring udledes ved pumpning til en lokal grøft.

Efter filtrering ledes det behandlede vandet til rentvandsbeholderen, hvorefter vandet inden udpumpning behandles gennem et UV-anlæg. UV-anlægget er nødvendigt for at det udpumpede drikkevand kan overholde kvalitetskrav, der stilles til bakteriologien i drikkevandet. UV-anlægget er installeret som en sikkerhedsforanstaltning for at reducere bakterievækst, som følge af polymerdosering (beskrevet i tilladelse til polymerdosering). Der sker løbende rengøring af UV-anlægget styret af én af to parametre (Rengøringen sker ved en Cleaning-in-place (CIP) procedure): 1) driftsperiode på 3 døgn; 2) fald i lysintensitet.



Figur 3 Procesflowdiagram over den eksisterende vandbehandling på Læsø Vandværk.

2.1.3.1 Vandkvalitet igennem det nuværende anlæg

Som angivet i tabel 2, er der ved seneste prøvetagning på afgang vandværk noteret overskridelser for NVOC og jern, der er dog ikke noteret overskridelser ved forbrugers taphane, heller ikke for farvetal, da Læsø Vand har dispensation på farvetal på 25. Der er historiske udfordringer med at overholde kravværdierne for henholdsvis NVOC, jern, farvetal og tidligere også periodisk mikrobiologi.

Filterbund og filtermaterialer er skiftet på alle fire filtre, og der blev efter endt indkøring af alle filtrene lavet akkrediterede vandkvalitetsanalyser i toppen og ved afgang af alle fire filtre. Tabel 3 viser resultaterne af analyserne. Resultaterne dokumenterer at sandfiltrene ikke er i stand til at tilbageholde vandets indhold af NVOC, og dermed forbliver farvetallet for vandet ligeledes højt også ved afgang filtrene. Der er analyseret for jern og aluminium (filtrerede prøver) hvilket viser, at de opløste metaller af aluminium delvist tilbageholdes i filtrene, og at det opløste jern tilbageholdes i filtrene i tre ud af de fire filtre til under krav værdien på 0,2 mg/l (forudsat at der ikke også er jern på partikulær form i vandet).

Tabel 3: Vandkvalitet målt i top og bund af de fire sandfiltre, prøvetagning 04-03-2025.

	pH	Farvetal	NVOC, filtreret	Aluminium, filtreret	Jern, filtreret
enhed	pH	Pt-mg/l	mg/l	µg/l	mg/l
Top filter 1	7,7	26	6,5	340	1,3
Top filter 2	7,8	28	6,4	360	1,3
Top filter 3	7,8	29	6,5	350	1,1
Top filter 4	7,8	40	6,5	400	1,1
Bund filter 1	7,8	29	6,5	110	0,14
Bund filter 2	7,7	27	6,4	96	0,11
Bund filter 3	7,7	27	6,4	95	0,12
Bund filter 4	7,8	26	6,4	110	0,24



Tabel 4 viser feltmålinger foretaget gennem vandbehandlingsprocessen på vandværket forud for fuldskalaforsøgene med PAC dosering startes, den 04.06.2025.

Tabel 4: Vandkvalitet - kortlægning før PAC dosering startes. Feltanalyser (04-06-25: pH, O₂, turbiditet) samt akkrediterede analyserede prøver (**NVOC, Farvetal, Aluminium, Jern**)

	Enhed	Råvand	Efter CO ₂ tilsætning	Efter Filter 3	Afgang VV, efter UV	Drikkevandskrav
pH		6,47	8,45	7,92	7,5	7,0-8,5
O ₂	mg/l	-	10,18	9,69	-	anbefaling 5 mg/l
Turbiditet	FTU	23,6	-	0,77	1,55	vejledende afgang VV 0,3 krav forbrugers taphane 1
NVOC	mg/l	7,4	-	-	7,2	6*
Farvetal	mg Pt/l	38	-	-	27	25**
Aluminium	µg/l	430	-	-	92	200
Jern	mg/l	1,6	-	-	0,10	0,200

* Læsø har dispensation på NVOC (normalt krav 4)

** Læsø har dispensation på farvetal (normalt krav 15 Pt-Co)

Resultaterne i tabel 4 viser, at der fortsat er udfordringer med vandkvaliteten ved afgang vandværk i forhold til NVOC og farvetal, hvorimod de opløste metaller af jern og aluminium fint overholder kravene til drikkevand. Tallene for turbiditet efter filter 3 og ved afgang vandværk indikerer ligeledes problemer i vandbehandlingen.

3. Begrundelse for ansøgning

Læsø Vandværk har udfordringer med at overholde kvalitetskravene for specielt i forhold til jern, NVOC og farvetal for drikkevand, jf. den gældende drikkevandsbekendtgørelse (BEK nr. 221 af 25/02/2025).

Læsø Vandværk har fået et dispenseret krav på 6 mg/l NVOC og 25 mg Pt/l farvetal i rentvand. Læsø Vandværk har i forvejen forsøgt at imødekomme udfordringerne med vandkvaliteten, blandt andet ved polymertilsætning samt etablering af nye råvandsboringer. Alle råvandsboringerne på Læsø er terrænnære og derved typisk kan have et højere indhold af organisk stof. Høje værdier for NVOC i råvandet følges typisk også med stigende indhold af jern og øget farvetal. Der er løbende arbejdet med at optimere vandbehandlingen for at imødegå udfordringerne med vandkvaliteten, dog helt den ønskede effekt.

Det er tidligere undersøgt med en test, om forlængelse af opholdstiden med eksisterende polymer alene kunne reducere NVOC indholdet tilstrækkeligt. Dette var ikke tilfældet. Det blev derudover undersøgt, om indvindingsstrategien kunne optimeres mhp. at opnå en råvandskvalitet med primært lavere NVOC. Dette var ikke muligt. Det blev derfor fundet nødvendigt at undersøge alternative behandlinger til at fjerne NVOC.

Overvejelser om valg af teknologi fremgår af næste afsnit - ligesom resultaterne af netop gennemførte fuldskalaforsøg vil blive ridset op.



4. Valg af teknologi

Der er tre teknologier som betegnes egnet til behandling af NVOC:

- Kemikaliedosering
- Kemisk oxidation
- Membranfiltrering.

Både kemisk oxidation og membranfiltrering har tunge anlæg og energiomkostninger sammenlignet med kemikaliedosering. Derudover kræver kemisk oxidation særlige sikkerhedsforanstaltninger ved levering, håndtering og opbevaring af stærke oxidanter, som er udfordrende for et mindre vandværk som Læsø Vandværk. Membranteknologi genererer en spildstrøm, som ud over at bidrage til vandtab, også kan være svær at bortskaffe. Kemikaliedosering er en relativ simpel, effektiv og økonomisk overkommelig teknologi og vælges derfor også oftest af mindre vandværker.

Kemikaliedosering inkluderer tilsætning af fældningsmiddel, som er baseret på enten aluminium eller jern. Aluminiumklorid virker generelt bedst ved lidt højere pH end jernklorid til fjernelsen af humustoffer og forventes derfor mest effektivt ved tilsætning til grundvand med en pH på 7 til 8. Det blev på den baggrund besluttet at undersøge, hvorvidt en ekstra kemikaliedosering ved tilsætning af aluminiumklorid til vandbehandlingen kan afhjælpe udfordringerne med drikkevandskvaliteten på Læsø.

På baggrund af erfaringer fra tilsvarende forsøg på Læsø i 2008 og 2009, samt nye JAR-test forsøg med dosering af aluminiumklorid (PAC) i tillæg til tilsætning af polymer (februar 2025) blev der ansøgt om midlertidig tilladelse til fuldskalaforsøg til dokumentation for effektiviteten af kemikalietilsætningen på selve drikkevandsproduktionen på Læsø Vandværk.

Resultaterne af fuldskalaforsøgene er givet i afrapporteringen af forsøgene (se bilag 1), hvor data fra den sidste prøvetagning tilkommer, når prøverne er udtaget og data foreligger. Resultaterne viser at dosering af aluminiumklorid (i form af PAC, ECOFLOCK 90) til den eksisterende vandbehandling forud for den eksisterende polymertilsætning giver en tydelig reduktion for både jern, farvetal og NVOC indhold, således at drikkevandet produceret i fuldskalaforsøgsperioden har overholdt de aktuelle kravværdier for Læsø Vand på 25 Pt-mg for farvetal og 6 mg/l for NVOC. Der blev i forsøgsperioden ligeledes overvåget de mikrobiologiske parametre for drikkevandet, hvor der ikke blev registreret udfordringer med kvaliteten efter den eksisterende UV-behandling ved afgang vandværk.

5. Ansøgning

Læsø Vand ansøger om tilladelse til videregående vandbehandling med en udvidelse af eksisterende vandbehandling med dosering af koaguleringskemikalie forud for den eksisterende polymerdosering med det primære formål at reducere det organiske indhold samt farvetallet for det producerede drikkevand. Der søges derfor om tilladelse til, i tillæg til den eksisterende vandbehandling, at opføre et doseringsanlæg til dosering af aluminiumklorid til fjernelse af primært NVOC og farvetal.

Koagulering i drikkevandsbehandling med poly-aluminiumklorid er kendt fra andre skandinaviske lande, hvor det ofte anvendes afhængig af den øvrige vandbehandling doseres poly-aluminiumklorid med 1 mg Al/l - 2,5 mg Al/l. Der er ikke tradition for brugen i dansk vandbehandling primært på grund af de råvandskvaliteter det danske grundvand generelt yder til vandværkerne. Dette er dog ikke tilfældet på Læsø, hvor borerne leverer overfladenært grundvand med vandkvaliteter givet i tabel 1. På baggrund af resultaterne fra fuldskalaforsøg med PAC dosering udført i sommeren 2025, ansøges om dosering med poly-aluminiumklorid (PAC, Ecoflock 90) op til 2,5 mg Al/l.



5.1 Teknisk beskrivelse

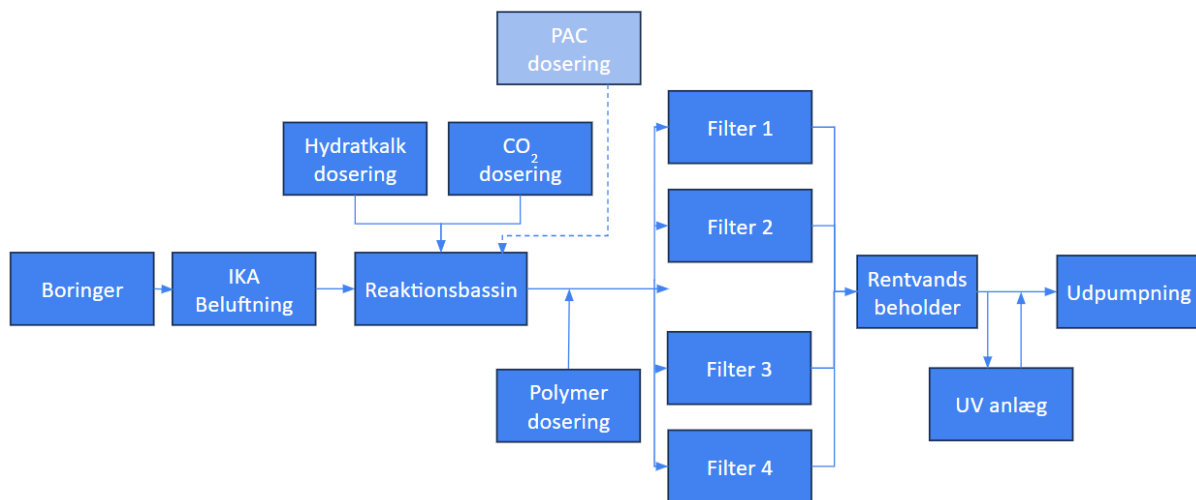
Ansøgningen sker på baggrund af resultaterne fra fuldskalaforsøg udført hen over sommeren 2025 (uge 23 - 33, inkl. ferie). I forsøgene er der tilført poly-aluminiumklorid (PAC) med salgsnavnet ECOFLOCK 90, datablad i Bilag 2.

Kemikaliedosering

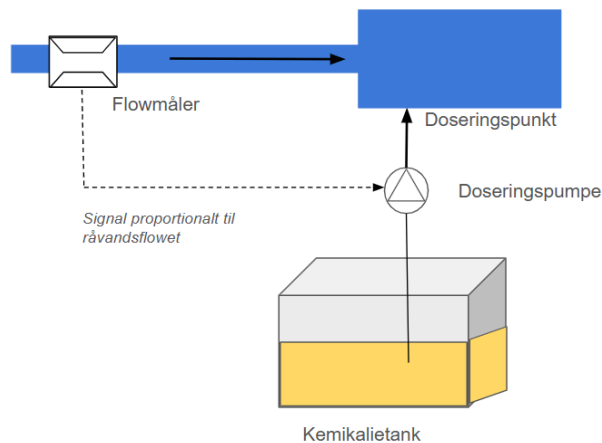
Doseringen af koaguleringskemikaliet ønskes lige før polymer-doseringen i den eksisterende vandbehandling. Doseringen skal styres efter indvindingen (m^3/t) efter samme princip som doseringen af CO_2 og polymer doseres i det eksisterende system, der skal være en flowproportional dosering af koaguleringskemikaliet PAC.

Aluminiumklorid (PAC) doseres efter tilførsel af hydratkalk og kuldioxid til vandværkets reaktionsbassin. Doseringen sker således, at pH-målingen til styringen af hydratkalk ikke forstyrres, samt at den doserede aluminiumklorid kan fordeles i den anden del af reaktionsbassinet og før polymerdoseringen. PAC doseringens placering i vandbehandlingsprocessen kan ses i figur 4, og princippet for styringen af doseringen er illustreret i figur 5.

PAC tilsætning Læsø Vandværk



Figur 4: Procesflowdiagram med doseringen af PAC til vandbehandlingen på Læsø Vandværk.



Figur 5: Princip for styringen af PAC dosering af PAC til vandbehandlingen på Læsø Vandværk.

Ved tilsætningen af kemikaliet i reaktionsbassinet dannes små aluminiumhydroxid-fnug i vandet, der binder urenheder i råvandet som organiske forbindelser og dermed også humint bundet jern. Reaktionen mellem råvandet og aluminiumklorid sker hurtigt. Fordelen ved at dosere koaguleringskemikaliet i reaktionsbassinet er at give kemikaliet tid til at reagere med urenhederne i vandet. Når vandet herefter tilføres polymer, stabiliseres de dannede fnug samt den egentlige flokkulering af urenhederne startes. Herefter føres vandet til vandværkets sandfiltre, der sikrer at de dannede flokke bliver filtreret fra vandet. Flokkene tilbageholdes i sandfiltrene og udskylles til skyllevandsbassinet ved returskylningen af filtrene.

Der er i fuldskalaforsøgene dokumenteret effekt for PAC doseringer mellem 2,0 mg Al/l og 2,5 mg Al/l. Doseringen af PAC er ligeledes dokumenteret at have effekt, når polymerdoseringen reduceres i den eksisterende vandbehandling. Der ansøges derfor om tilladelse til dosering med ECOFLOCK 90 op til 2,5 mg Al/l i kombination med den eksisterende polymerdosering.

Vandkvaliteten

Vandkvaliteten er observeret med lokal egenkontrol efter sandfiltrene igennem hele forsøgsperioden, samt ved akkrediterede vandanalyser af råvand, drikkevand (før og efter UV) og returskyllevand, der afledes til recipient.

Vandkvaliteten for det producerede drikkevand overholder i hele forsøgsperioden de gældende grænseværdier for vandkvaliteten fra Læsø Vandværk og de akkrediterede mikrobiologiske prøver dokumenterer, at det producerede vand også overholder de mikrobiologiske krav til drikkevandskvaliteten ved afgang vandværket. Dokumentationsgrundlaget giver ikke anledning til bekymring for forbrugernes sundhed og vilkår som funktion af den ændrede vandbehandlingsproces.

Der indvindes fra forskellige borer i den normale drift på vandværket. Det er dokumenteret i fuldskalaforsøgene at den flowproportionale dosering af PAC og effekten af kemikalietsætningen til vandet ikke påvirkes af den variation, der stammer fra de forskellige variationer, de mange borer medfører.

Fuldskalaforsøgene har dokumenteret en reduktion i NVOC indholdet og farvetallet for det producerede drikkevand til under de nuværende dispenserende vandkvalitetskrav på hhv. farvetal: 25 Pt-mg/l, og NVOC: 6 mg/l. Jernindholdet i drikkevandet reduceres til langt under drikkevandskravet på



0,200 mg/l (i forsøgsperioden er jernindholdet akkrediteret målt til 0,029 mg/l - 0,044 mg/l). Resultaterne viser ligeledes at farvetallet for drikkevandet ved PAC dosering kan komme under kravene i den gældende drikkevandsbekendtgørelse (BEK nr. 221 af 25/02/2025) på 15 Pt-mg/l, (i forsøgsperioden er den en måling på 14 Pt-mg/l), NVOC indholdet er dog ikke helt kommet under kravene i den gældende drikkevandsbekendtgørelse på 4 mg/l, men er dokumenteret til 4,6 mg/l gennem en længere periode. Der kan potentielt være mulighed for at både farvetal og NVOC indhold vil kunne opnå yderligere reduktion som funktion af længere tids kontinuerlig produktion.

Se detaljerede analyseresultater og dermed dokumentation for hvordan tilsætning af koaguleringskemikalie positivt påvirker den eksisterende vandbehandling i Bilag 1 - Afrapporteringen af fuldskalaforsøgene med PAC dosering, Læsø Vandværk.

Kemikaliedoseringens effekt i vandbehandlingen

Der er observeret øget turbiditet i vandet efter PAC doseringen samt større flokke, rødlige og løst sammenhængende, på toppen af sandfiltrene. De observerede flokke er større end observeret i den tidligere vandbehandling. Vandkvaliteten efter filtrene viser, at flokkene tilbageholdes af sandfiltrene. Der kan således observeres lavere turbiditet og apparent color¹ for vandprøverne efter filtrene, når der sker PAC dosering. Desuden ses ingen øget indhold i vandets andel af aluminium ved afgang vandværk; der er målt 92 µg/l uden PAC doseringen (d. 4/6-2025), i forsøgsperioden er der målt værdier fra 57 µg/l til 73 µg/l. Drikkevandets indhold af aluminium ændres derfor ikke ved den øgede tilsætning af PAC i vandbehandlingen, da koaguleringskemikallet bidrager til vandbehandlingen ved at reagere med vandet og derefter bliver tilbageholdt i sandfiltrene.

Sandfiltrene renholdes ved returskylning, der er observeret tilfredsstillende renskylning af sandfiltre ved den eksisterende returskylning på vandværket. Det må forventes at returskyllevandet vil have et øget indhold af SS-tørstof samt aluminium. Dette håndteres i returskyllevandsbassinet, hvor flokke og okker bundfældes før det klarede returskyllevand ledes fra toppen af bassinet gennem en udløbsbrønd til recipient.

Fuldskalaforsøgene dokumenterer, at tilsætningen af PAC kan opnå gode effekter sammen med en reduceret tilsætning af polymer til vandbehandlingen, da koaguleringen understøtter en bedre udnyttelse af den tilsatte polymer. Derfor forventes det at forbruget af polymer reduceres fremadrettet ved fortsat dosering med PAC.

Kontrol af effektiviteten

Resultaterne af fuldskalaforsøgene viser desuden at den eksisterende kontinuerlige måling af turbiditet ved afgang vandværk er et stærkt redskab til at kontrollere effektiviteten af PAC tilsætningen. Når PAC doseringen ikke fungerer efter hensigten ses dette med det samme som udslag i en højere turbiditet i det producerede drikkevand. Som ekstra kontrol hertil kan den eksisterende pH måling i rentvandstanken anvendes til kontrol for stabilt og konstant pH niveau i det producerede drikkevand. Ligeledes vil parametrene turbiditet, farvetal og pH være gode kontrolparametre for tilsætningens effektivitet ude hos forbrugeren. Disse parametre indgår allerede i det eksisterende overvågningsprogram for vandkvaliteten.

5.2 Forbrugsstoffer

Den ansøgte teknologi kræver dosering af koaguleringskemikalie, PAC. PAC, Ecoflock 90 er et flydende polyaluminiumklorid produkt, hvor der er et aktivt aluminium (Al) indhold på $9,0 \pm 0,3$ wt%. Vedlagt er produktblad for kemikallet (bilag 2).

¹ Apparent Color, måles på vandværket med DR1900 spektrofotometer, Method 8025



Kemikaliet skal leveres og opbevares i original emballage eller godkendte tanke. Emballagen skal være korrosionsbestandig og opbevaringen skal ske tørt og beskyttet mod direkte sollys. Planen for anlægget på Læsø er, at få kemikaliet leveret i 1000 L palletanke af hensyn til hygiejnisk og arbejdsmiljømæssig mest korrekte håndtering, der ikke kræver omhældning eller påfyldning af tanke med risiko for spild. Opbevaringen skal ske adskilt fra varmekilder og øvrige kemikalier.

Koaguleringskemikaliet er godkendt til anvendelse i drikkevandsbehandling, og opfylder den europæiske standard EN 17034:2018 "Chemicals used for treatment of water intended for human consumption". Der stilles krav til leverandører om dokumenteret renhedsgrad for kemikaliet. Leverandøren skal medsende certifikat for hver leveret batch.

I Ecoflock 90 (PAC) kan have spormetalindhold af tungmetaller som en del af produktet. Der er lavet en teoretisk beregning af den maksimale tilførsel af de opgivne mulige tungmetaller fra produktet (se produktdatablad i bilag 2, for liste over typiske spormetaller for produktet). Beregningerne er lavet på baggrund af tilførsel af 2,5 mg Al/l PAC direkte til drikkevandet. Dvs., at alle de tilførte tungmetaller overføres direkte til drikkevandet, derfor tages der ikke i beregningerne højde for, at tungmetallerne vil fjernes i vandbehandlingen under filtreringen og derfor ikke komme til at indgå i de beregnede mængder i drikkevandet. De teoretisk beregnede værdier er derfor det maksimalt tænkelige. Beregninger kan findes i bilag 3 (Teoretisk beregning af tungmetaller i vandet). Beregningerne viser, at tungmetallerne fra produktet svarer til under 1 ‰ af kvalitetskravet.

5.3 Design og robusthed

Den ansøgte koaguleringskemikalietilsætning indpasses i den eksisterende vandbehandlingsproces og bygningsmasse ved at etablere et særskilt kemikalieopbevaringslokale på det eksisterende vandværk. Kemikalielokalet får leverings- og adgangsvej direkte fra det fri, og der etableres ikke gennemgang fra opbevaringslokalet til vandværkets øvrige produktionslokaler, her ved reduceres risiko for kontaminering og/eller overløb ved eventuelt spild. I lokalet sikres korrekt og sikker opbevaring af kemikaliet, hvor det opbevares i de kemikalietanke, som de bliver leveret i, herved undgås omhældning og håndtering af kemikaliet.

Doseringspunktet vil fortsat være i anden del i reaktionsbassinet, for at sikre reaktionstid i reaktionsbassinet, før der doseres polymer og vandet føres til sandfiltreringen (se placering i figur 4). Der etableres et fast integreret doseringsanlæg i kemikalieopbevaringslokalet. Dette består af en doseringspumpe med høj præcision og regulerbar kapacitet. Doseringen sikres flowproportionalt med råvandsflowet, ved at direkte signal fra råvandsflow til doseringspumpen. Den skalerbare dosering sikrer at doseringen kan justeres og derved håndtere sæssonvariationer i drikkevandsproduktionen og spidsbelastningssituationer dynamisk og sikkert. Doseringen integreres som en del af det eksisterende SRO anlæg og overbliksbillede af vandværkets drift og funktion.

Der kan etableres overvågning, der angiver kemikalievæskestanden i den aktive kemikalietank, der bruges til doseringen, ligesom doseringsrøret der tager kemikaliet op fra tanken sikres med en bundprop at kunne nå bunden af tanken (og forblive nedsænket i væsken) under drift af anlægget. Det kan overvejes at inkludere en back-up til doseringspumpen på vandværket, for at reducere risikoen nedetid for doseringsanlægget, ved fejl på pumpen. Almindelig service på pump og doseringsanlæg kan foregå på tidspunkter uden drift på anlægget.

5.4 Afledte effekter

PAC tilsætningen til vandbehandlingen har betydet en kraftig reduktion i drikkevandets turbiditet, hvilket over tid vil medføre mindre behov for udskylning og rensning af distributionsnetværket på Læsø idet reduceret turbiditet vil medføre mindre risiko for aflejringer i ledningerne, ligesom det også kan



medføre mindre slid på ventiler og pumper samt potentielt længere levetid for målere og andre komponenter i netværket.

Under vandbehandling fjernes aluminium og en stor del af tungmetallerne i sandfilteret og vil være at finde i retur skyllevandet og efterfølgende bundet i returskylleslammet. Analyser af returskyllevandet ved afledning til recipient viser at det afledte klarede returskyllevand ved udledning til recipient indeholder Nikkel og jern i omtrent samme mængder før (04-06-25) som efter PAC tilsætningen i vandbehandlingen. Nikkel findes primært i opløst form ved udledning til recipient, hvorimod jern primært findes partikulært med en mindre andel som opløst jern. Arsen viste indhold på 1,6 µg/l før (04-06-25) og værdier mellem 0,74 µg/l og 1,3 µg/l efter PAC tilsætningen i vandbehandlingen. For indholdet af aluminium ser det ud til at vandet udledt til recipient får et øget indhold af Al med tilsætningen af PAC i vandbehandlingen. Der er noteret Al indhold på 130 µg/l, primært i partikulær form, før (04-06-25) og værdier på 430 µg/l - 730 µg/l efter tilsætning af PAC i vandbehandlingen, ligeledes primært i partikulær form med en mindre andel som opløst Al.

6. Forsyningssikkerhed

Fuldskalaforsøgene med PAC dosering til vandbehandlingen på Læsø Vandværk hen over højsæsonen sommeren 2025 har dokumenteret, at der ikke er udfordringer for forsyningssikkerheden ved implementering af kemikaliedosering med PAC til vandbehandlingen på Læsø Vandværk.

Den kontinuerlige kemikaliedosering kræver, at der gennem hele året er kemikalie i form af PAC, Ecoflock 90 tilstede på vandværket. Ved en årsproduktion af drikkevand mellem 200.000 m³ og 250.000 m³, vil dette kræve 4.000 - 5.000 L PAC/år. Ved hjemkøb af kemikalie sikres, at der hele tiden er tilstrækkelig kapacitet til rådighed på vandværket for minimum en måneds produktion.

6.1 Risikofaktorer i anlægsfasen

Der skal kun laves simple ombygninger og justeringer i det eksisterende vandværk for at integrere det kommende kemikaliedoseringsanlæg i vandbehandlingen på Læsø Vandværk.

Det eksisterende pilotskala forsøgsanlæg kan forestå driften på vandværket indtil det endelige anlæg med kemikalierum og doseringssystem er færdig etableret.

Der anses derfor for meget lille risiko for udfald eller manglende kemikaliedosering i etableringsfasen. Omkobling fra midlertidig doseringssystem til det blivende doseringssystem kan ske i perioder i løbet af arbejdsdagen, hvor der ikke er drift på anlægget. Det forventes at det nye kemikalelokale og doseringsanlæg kan være etableret og klar til at komme i drift inden for 2 måneder.

Der vil i overgangen fra midlertidigt anlæg til det faste anlæg føres kontrol med funktion og effektivitet af kemikaliedoseringen med kontrolanalyser på vandprøver fra afgang filter, hvor der måles for turbiditet og aluminium samt eventuelt apparent color. Der udtages kontrolprøve til dokumentation for det etablerede anlægs funktion og effektivitet efter igangsætning. Prøverne indsendes til akkrediteret analyse for jern, aluminium, NVOC, Chlorid, farvetal samt fuldt mikrobiologisk analyseprogram, i lighed med analyserne der blev foretaget under fuldskalaforsøgene.

6.2 Drift og vedligeholdelsesprogram

Den ansøgte koaguleringskemikalietilsætning vil indgå i den almindelige drift på vandværket, hvor der i forvejen findes forskellige typer af kemikaliedosering. Driftspersonalet på vandværket er derfor vant til kemikaliehåndtering og den øgede opmærksomhed på arbejdssikkerhed ved håndtering, udsving i driftsparametre og lignende dette medfører.

Drift og overvågning af koaguleringskemikaliet indarbejdes i den eksisterende SRO, således at der etableres en alarm, hvis funktionen af PAC doseringen ikke er som planlagt. Det kan være ved fejl på signal fra råvandflow, fejl på pumpe eller anden fejl i systemet. Fra SRO skal den aktuelle



PAC-doseringen fremgå (f.eks. ml/m³ eller ml/puls), der skal etableres en øvre grænse for PAC doseringen i systemet, således at mulighed for overdosering ved en fejl reduceres. Denne grænse kunne være 3,5 mg Al/l. Hertil kan der etableres overvågning af kemikaliestanden i kemikalietanken og eventuelt et estimat for tilbageværende produktionsmængde med den tilbageværende kemikalie mængde i tanken. Dette synliggør, om der forbruges PAC i den hastighed, der er planlagt, samt hvornår der skal ske ombytning af kemikalietank.

Fuldskalaforsøgene dokumenterede at den eksisterende kontinuerlige måling af turbiditet ved afgang vandværk er et troværdigt og stabilt mål for effektiviteten af PAC doseringen i produktionen, det anbefales derfor at der dagligt observeres for denne parameter, meget gerne i sammenhæng med pH i rentvandstanken, der ligeledes logges kontinuerligt i SRO-anlægget. Det bør tilstræbes at turbiditeten ved afgang vandværk er 0,3 FTU eller lavere. Ved højere turbiditet bør funktionen i anlæggets kemikaliedoseringer kontrolleres, det gælder alle kemikaliedoseringer og ikke blot PAC doseringen.

Kontrol af vandkvalitetsparametrene for NVOC, farvetal, jern samt aluminiumsindhold skal fremadrettet fortsætte med at indgå kontrolprogram for vandkvaliteten. De mikrobiologiske parametre overvåges ligeledes i det eksisterende kontrolprogram for vandkvaliteten. Begge dele bør forstærke som hidtil.

I forbindelse med potentielt kemikaliespild kan spildt PAC væske absorberes i inaktivt absorberingsmateriale f.eks. tørt sand eller vermikulit, der bør derfor forefindes absorberingsmateriale i kemikaliedoseringslokalet. Den absorberede væske opsamles herefter i tætsluttende beholdere og forurende overflader renses med store mængder vand. Efter endt arbejde skal arbejdstøj og redskaber ligeledes vaskes og renses rene.

7. Økonomisk redegørelse

7.1 Anlægsøkonomi

Det ansøgte koaguleringskemikalieanlæg er simpelt og relativt uproblematisk at få etableret på det eksisterende vandværk. Anlægsøkonomien er derfor meget beskeden, og de indgreb, der kræves, kan betragtes som løbende vedligehold af bygningen. Der er derfor ikke afsat ekstra økonomi til selve etableringen af anlægget.

7.2 Driftsøkonomi

Den forventede driftsøkonomi for PAC-doseringen forventes at være meget begrænset. Driftsøkonomien er primært udgjort af udgifter til indkøb af kemikalier, da energiforbruget til doseringspumpen er minimal. Indkøbsprisen for Ecoflock 90 til en kontinuerlig vandbehandling på Læsø, beregnes på baggrund af seneste tilbud for levering af kemikaliet i tanke med 1200 kg, hvilket svarer til en driftspris på omkring 0,19 kr pr m³ produceret vand. Der indgår en pantløsning på emballagen, som har en lille merudgift ved første bestilling, ordningen går i nul efter 5 paller. For den samlede driftsøkonomi for vandbehandlingen har det ligeledes betydning, at der ved etableringen af PAC doseringen kan reduceres lidt i polymertilsætningen. Dette giver både en besparelse på udgiften til polymer i indkøb, men da håndteringen af polymer-doseringen er tung i mandskabstimer, forventes både en reduktion i tidsforbrug på anlægget og økonomi. Doseringen af PAC sker automatisk og kan følges på SRO anlægget. De fysiske mandetimer driften af dette anlæg kræver er minimalt og kan udføres samtidig med øvrige drift-gøremål på vandværket.

7.3 Samfundsmæssige aspekter

Ud over de økonomiske konsekvenser, vil dosering af aluminiumklorid til vandbehandlingen på Læsø bidrage positivt samfundsmæssigt, da det bidrager til at sikre, at en nødvendig vandressource udnyttes bedst muligt. Læsø har ikke en alternativ drikkevandsforsyning, og det er derfor vigtigt at eksisterende vandforsyning kan opretholdes.

En reduktion i organisk indhold, jern, farvetal og turbiditet i vandet i distributionsnettet på Læsø vil ligeledes reducere behovet for spuling og rensning i ledningsnettet, ligesom levetiden på pumper, målere og andre komponenter forventes forlænget med den bedre vandkvalitet i ledningsnettet.



7.4 Forventet vandpris

Som funktion af den lave driftspris for PAC tilsætning sammen med de forventede besparelser i tid og udgifter i den øvrige drift på vandværket og i ledningsnettet, forventes det ikke, at den ansøgte koaguleringskemikalietsætning vil få indflydelse på den fastsatte vandpris for vandværkets kunder.

8. Miljømæssig redegørelse

8.1 Ressourceforbrug

Den ansøgte PAC-dosering vil kræve en årlig kemikaliedosering på 4.000 - 5.000 L PAC/år. Energiforbruget begrænses til energiforbruget til doseringspumpen, hvilket er minimalt.

8.2 Miljøeffekter

Det anvendte koaguleringskemikalie, Ecoflock 90, er ikke klassificeret som miljøskadeligt og betegnes ikke giftigt for fisk. Produktet indeholder primært inorganiske stoffer, som ikke er bionedbrydelige. Produktet indeholder ikke stoffer, som forventes at være bioakkumulerende (bilag 4, sikkerhedsdatablad). Der kunne ikke findes LC50 værdier for præcist det anvendte produkt, men LC50 (96 h) værdi for fisk for et tilsvarende produkt er 20,3 mg/l (bilag 5, sikkerhedsdatablad med LC50-værdier).

Det doserede PAC-kemikalie vil medføre en vis tilførsel af aluminium og klorid. Aluminium er dokumenteret til at blive filtreret fra i filterprocessen og ender i filterskyllevandet, som ledes til slambassin med henstandstid, hvor aluminium bundfælder og afklaret vand ledes til recipient. Klorid forventes at være i vandfasen, men bidraget fra klorid som ledes til recipient forventes at være minimal og uden betydning for recipient.

Læsø Vand A/S, Læsø Kommune, samt myndighedsrådgiver er i gang med at udarbejde en tilladelse til udledning af returskyllevand

9. Opsummering

På vegne af Læsø Vand A/S, anmodes Frederikshavn kommune om en endelig tilladelse til videregående vandbehandling med dosering af aluminiumklorid med maksimum 2,5 mg Al/l til den eksisterende vandbehandlingsproces på Læsø Vandværk.

Såfremt yderligere oplysninger er påkrævet til sagens behandling, står vi selvfølgelig til rådighed.

Med venlig hilsen
Krüger A/S

Majbritt Lund
Procesingeniør

10. Bilag

1. Afrapportering Fuldskalaforsøg med PAC dosering, Læsø vandværk - *foreløbig*
2. Produktdatablad for PAC 9wt%, Ecoflock 90
3. Teoretisk beregning af tungmetaller i vandet
4. Sikkerhedsblad for Ecoflock 90
5. Sikkerhedsdatablad med LC50-værdi (Aluminiumchlorid wasserfrei gesiebt)